

Овечкина Е. В., соискатель

Научный руководитель Поршнев С. В., проф. д-р техн. наук

## АНАЛИЗ ЛОЖНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ И НЕЛИНЕЙНОСТИ МНОГОМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ СОСТАВА И СВОЙСТВ УГЛЯ ПРИ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗЕ

Качество и торгово-промышленная маркировка коксующихся углей устанавливается исходя из их вещественного состава и технологических свойств. Они анализируются на этапах добычи, обогащения, формирования партий заказчикам и составления шихты. Так, цена угля в зависимости от его качества колеблется от 1 до 3 тыс. руб. за тонну, и ошибка классификации одной партии сырья объемом 100 тыс. тонн достигает 2 млн. руб. Таким образом, разработка математических методов, позволяющих уменьшить вероятность ошибки классификации угля, является весьма актуальной.

Необходимо отметить, что на обогатительной фабрике уголь опробуется и анализируется на влажность, пластичность, зольность, содержание суммы летучих веществ и составляются партии сырья с требуемым заказчику качеством. Для производства кокса особенно важны пластические свойства угля, определяемые толщиной пластического слоя ( $y$ , мм). Толщина пластического слоя в шихте, составляемой из разных углей, не обладает аддитивностью, поэтому состав шихты, в сущности, определяется по наитию или методом «тыка», то есть проб и ошибок, и накапливаемого опыта.

В рамках разработки подходов к рассматриваемой проблеме мы провели целенаправленные исследования на Центральной обогатительной фабрике (г. Прокопьевск) многомерных зависимостей химических и технологических параметров кузбасских коксующихся углей, полученных при экспресс-анализе. Их результаты показывают, что толщина пластического слоя ( $y$ , мм) как в партиях сырья, так и в составляемой из них шихте, зависит от процентного содержания водорода ( $H$ ), азота ( $N$ ) и кислорода ( $O$ ). При этом соответствующая зависимость, полученная с помощью метода наименьших квадратов, является степенным полиномом второго порядка:

$$y = 77,7 + 4,7H - 95,8N + 1,2O - 3,4H^2 + 6,0N^2 - 0,2O^2 + 16,2HN + 1,8HO - 4,3NO. \quad (1)$$

Совокупное корреляционное отношение (1) оказалось равным 0,98. Сравнение величины  $y$  с результатами лабораторных пластометрических измерений, выполненных с помощью аппарата, разработанного академиком Л.М. Сапожниковым, показало, что среднеквадратическая погрешность определения толщины пластического слоя составила  $\pm 2,77$  мм, или в относительном выражении около 18%. Таким образом, полученные нами результаты вполне согласуются с результатами пластометрических измерений. Действительно, погрешность лабораторных пластометрических измерений, а стандарт ошибок оценок величины  $y$  по уравнению регрессии (1) составляет  $\pm 2,3$  мм, или в относительном выражении около 15%. Данные шибки включают обычные погрешности анализов содержаний водорода, азота и кислорода.

Необходимо отметить, что уравнение регрессии отражает нелинейную связь компонентов угля с толщиной пластического слоя и объясняет ее неадди-

тивность в шихте, составляемой из углей разного состава. При этом сам состав шихты определяется как средневзвешенный из содержаний компонентов в смешиваемых партиях угля, что позволяет прогнозировать толщину пластического слоя  $y$  для шихты. С другой стороны, соединения водорода, азота и кислорода, тесно связанные с пластическими свойствами угля, практически полностью определяют процентное содержание летучих веществ ( $V^{daf}$ ) и обуславливают близкую к функциональной линейную зависимость с уравнением регрессии:

$$V^{daf} = -40,6 + 11,0H + 2,3N + 1,3O. \quad (2)$$

Формально вычисляемый коэффициент множественной корреляции для этой зависимости составляет 0,98, в сравнении с лабораторными анализами, которые выполняются с относительной погрешностью около 5%, стандарт погрешности оценок по уравнению (2) процентного содержания летучих веществ  $\pm 2\%$ , а по относительной величине – 6 %.

Отметим, что зависимость (2) отражает очевидную связь суммы со своими слагаемыми, взятыми с некоторыми весами, и является многомерным аналогом так называемой ложной корреляции, отмечавшейся в математической статистике для парных симметрично связанных процентных величин.

Содержания углерода (C, вес. %) также весьма точно можно оценить по линейному регрессионному уравнению:

$$C = 100,9 - 1,5H - 0,7N - 0,97O \quad (3)$$

Формально вычисляемый коэффициент множественной корреляции для зависимости (3) равен 0,999, что указывает на практически функциональную зависимость, процентное содержание углерода оценивается со среднеквадратичной погрешностью  $\pm 0,2\%$  (в относительном выражении всего 0,23 %). Это объясняется тем, что уголь состоит из соединений углерода, водорода, азота, кислорода, составляющих в сумме около 100%, и незначительного количества примесей (менее 1%). Ясно, что при уменьшении содержаний водорода, азота и кислорода содержание углерода соответственно возрастает, составляя в сумме около 100%.

Зависимость (3), как и (2), отвечает обобщению для нескольких переменных известной в математической статистике теоремы о ложной корреляции парных симметрично связанных процентных величин. Из этих зависимостей следует, что вещественный состав угля полностью определяется тремя компонентами в 7 возможных вариантах: H, N, O или  $V^{daf}$ , H, N или  $V^{daf}$ , N, O или  $V^{daf}$ , H, O или C, H, O или C, H, N или C, O, N. Это позволяет организовать анализ вещественного состава угля в наиболее подходящем варианте. При любом варианте возможен экспресс-анализ не только всех остальных компонентов по уравнениям (2) и (3), но и пластических свойств (1).